Bonn. zool. Beitr.	Jg. 36	H. 3/4	S. 237—260	Bonn, Oktober 1985

Beiträge zur Kenntnis des Mikro- und Bodenklimas der Kanarischen Inseln

von

Peter Höllermann

Einleitung

Klimaelemente gehören zu den grundlegenden ökologischen Umweltfaktoren abiotischer Art. Sind doch die wesentlichen biochemischen Grundprozesse in den Ökosystemen an Strahlungsenergie, Wärme und eine hinreichende Wasserverfügbarkeit gebunden. Zur Kennzeichnung der klimaökologischen Bedingungen bedient man sich in der Regel großklimatischer Mittel- und Schwellenwerte, wie sie aus dem langfristigen Beobachtungsmaterial meteorologischer Stationen unter genormten Meßbedingungen gewonnen werden.

Sehr beliebt zur Veranschaulichung des Großklimas und seiner raum-zeitlichen Differenzierung sind die ombrothermischen Klimadiagramme nach dem Verfahren von H. Walter (1955), die — nicht ganz unumstritten — den ökologisch bedeutsamen Jahresgang von Humidität bzw. Aridität zum Ausdruck bringen sollen. H. Walter (1977, S. 37) spricht geradezu von „ökologischen Klimadiagrammen". Für den makaronesischen Bereich hat letzthin F. Kämmer (1982) eine umfangreiche Sammlung solcher Klimadiagramme als Grundlage einer biogeographischen Bestandsaufnahme geliefert (vgl. auch F. Kämmer 1974).

Abb. 1 vermittelt eine Vorstellung von den Grundzügen der dreidimensionalen Differenzierung des Makroklimas, der Vegetation und des Wasserhaushaltes im Bereich des Kanarischen Archipels. Alle Klimadiagramme veranschaulichen Varianten des subtropischen Winterregentypus mit zumeist sehr ausgeprägter sommerlicher Trockenzeit. Bei näherer Betrachtung zeigt sich eine Zunahme der Humidität und somit eine Verbesserung des Wasserhaushaltes von den niedrigen afrikanahen Ostinseln zu den festlandferneren und höheren Westinseln. Auf den Hauptinseln wird zudem der Unterschied der humideren Luvseite in nördlichen Auslagen und der arideren Leeseite in südwärtiger Exposition deutlich, darüber hinaus eine ausgeprägte klimatische Höhenstufung mit einem Gürtel maximaler Humidität in mittleren Höhenlagen um rund 1000 Meter. Detaillierte Darstellungen des Großklimas finden sich u. a. bei I. Font Tullot (1959), A. Huetz de Lemps (1969), D. Fernandopullé (1976) oder P. Höllermann (1982). Schon vom Makroklima her erweisen sich also vor allem die gebirgigen Hauptinseln als Bühne für eine reichhaltige dreidimensionale ökologische Differenzierung, die in einer entsprechenden Gliederung der Höhenstufen von Vegeta-

tion, Böden und Landnutzung zum Ausdruck kommt. J. Matznetter (1968) sprach in diesem Zusammenhang von „reliefbedingten Klimatypen". Der hypsometrische Wandel stellt sich auf der feuchteren Luvseite wieder anders dar als auf der trockeneren leewärtigen Abdachung.

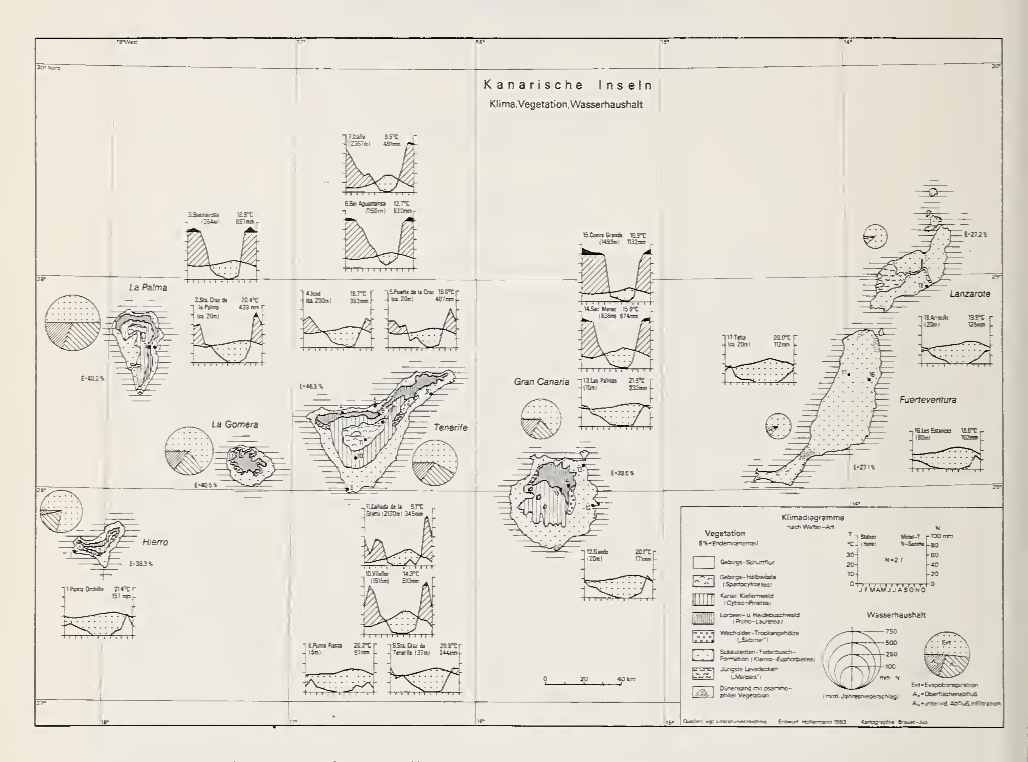


Abb. 1: Kanarische Inseln — Klima, Vegetation, Wasserhaushalt.

Zur näheren Charakterisierung der Lebensbedingungen sind die makroklimatischen Daten freilich nur von begrenztem Wert. Nicht das unter genormten Standardbedingungen gemessene und über längere Perioden gemittelte Großklima, sondern die konkreten Gegebenheiten innerhalb der einzelnen Biotope sind von unmittelbarer Bedeutung für die Lebewesen. Für kleine und junge Organismen sowie für die Reproduktionsbedingungen ist das Klima der bodennahen Luftschicht (R. Geiger 1961) bzw. das Mikroklima grundlegend für die abiotischen Lebensbedingungen. Dieses Mikroklima nahe der Bodenoberfläche weicht durch Einflüsse des jeweiligen Substrates, der Bodenbedeckung und des Kleinreliefs vom Makroklima ab und kann entsprechend der Vielzahl von Einflußfaktoren schon auf kleinem und kleinsten Raum erhebliche Unterschiede aufweisen. Dadurch entzieht sich das Mikroklima einer standardisierten Erfassung.

Das Mikroklima der bodennahen Luftschicht steht in enger Wechselbeziehung zum Bodenklima, das im Ökosystem-Zusammenhang u. a. für die mikrobiologischen Prozesse und die Remineralisierung organischer Substanz, für die Mobilisierung mineralischer Nährstoffe, die Wurzeltätigkeit und Keimungsbedingungen sowie für den Bodenwasserhaushalt bedeutsam ist.

Der Verfasser hat seit mehr als 10 Jahren und zu allen Jahreszeiten Messungen des Mikro- und Bodenklimas an ausgewählten Stellen der Inseln Tenerife, Fuerteventura und Lanzarote durchgeführt, allerdings mehr unter geomorphologischen und geoökologischen als unter bioökologischen Aspekten. Die zahlreichen Einzeldaten konnten bislang zum ersten Teil aufbereitet und publiziert werden (vgl. u. a. P. Höllermann 1978, 1980, 1981, 1982). Im Rahmen des vorliegenden Beitrages können nur Einzelbeispiele für die raum-zeitliche Differenzierung des Mikro- und Bodenklimas in ausgewählten Biotopen bzw. Oro-Biomen behandelt werden. Um zum einen der Thematik des Symposiums weitmöglichst zu entsprechen, zum anderen eine Stoffüberlastung zu vermeiden, wurden als Beispiele die Halbwüstengebiete der Fußstufe nahe dem Meer sowie die semiaride Gebirgsstufe der Hochlagen jeweils mit relativ offenen Pflanzenformationen ausgewählt. Daten aus der Waldstufe finden sich bei P. Höllermann (1978, 1981 und 1982).

Das Mikro- und Bodenklima in den Halbwüstengebieten der Fußstufe

Die Halbwüstengebiete der Fußstufe sind auf den niedrigen Ostinseln (Purpurarien) weit verbreitet, treten aber auch an der südlichen Peripherie der Hauptinseln Gran Canaria (z. B. um Maspalomas) und Tenerife (z. B. um El Medano) auf (Abb. 1). Die Grenze gegen die Kleinio-Euphorbietea-Bestände mit etwas höheren Humiditätsansprüchen ist nicht scharf durch eine bestimmte Höhenlinie festzulegen, sondern hängt in hohem Maße vom Substrat und auch von der Landnutzung ab.

Der Deckungsgrad der schütteren Strauch- und Halbstrauchvegetation der Halbwüste mit vielen nordafrikanischen Verwandtschaftsbeziehungen beträgt oft nur 15—20 %, so daß weithin der unbewachsene Untergrund direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Im sandigen Küstensaum und Dünenareal sind Halophyten wie *Traganum moquinii, Zygophyllum fontanesii* und Arten der Gattungen *Atriplex*, *Salsola* und *Suaeda* weitverbreitet. Sonst wird die Halbwüste vom xerophytischen Dornlattich (*Launaea arborescens*) und seinen Begleitern (darunter mehrere Lokalendemiten) beherrscht. Vielerorts hat die Ziegenbeweidung zu einer weiteren Auflockerung der Pflanzendecke und Freistellung des Untergrundes geführt. Wo die Sanddrift durch Passat und auflandige Seewinde weit landeinwärts reicht, können sich auch Wanderdünen und Sandfelder mit psammophiler Vegetation entwickeln (u. a. *Euphorbia paralias*, *Cakile maritima*, *Polycarpaea nivea*, *Cyperus kalli*, annuelle Gräser). Näheres zur Vegetation der Halbwüstengebiete ist bei D. und Z. Bramwell (1974) oder bei G. Kunkel (1977, 1980) nachzulesen.

Makroklimatisches Material auf der Basis einer längeren Beobachtungsperiode steht nur für wenige Stationen zur Verfügung (z. B. Arrecife und Flughafen Guasimeta, Lanzarote; Los Estancos und Tefia, Fuerteventura; El Medano-Confital und Flughafen Reina Sofia, Tenerife). Die küstennahen Stationen weisen Monatsmittel der Lufttemperatur zwischen 17 und 24 °C bei einem mittleren Jahresniederschlag um 100 mm und einem Jahresmittel der relativen Luftfeuchte nahe 80 % auf.

Die Sonnenstrahlung als energetische Grundlage sowohl für das Makro- als auch für das Mikro- und Bodenklima erreicht im küstennahen Lanzarote bei der Sonnenscheindauer rund 70 % und bei der Globalstrahlung 62 % der theoretischen, bei völliger Wolkenfreiheit und am Außenrand der Atmosphäre gegebenen Werte (Tab. 1). M. Ríos Navarro (1982) teilt für den Flughafen von Lanzarote zwar etwas geringere Werte der Globalstrahlung mit (entsprechend 57 % des theoretischen Wertes), doch erscheinen die in Tab. 1 angeführten Daten nach eigenen Erfahrungen und Messungen als realistischer. Jedenfalls ist die Intensität der Einstrahlung an der Erdoberfläche im meernahen Halbwüstengebiet deutlich geringer als im Höhenklima der Hauptinseln, z. B. in den Cañadas auf Tenerife. Die größere Mächtigkeit der Lufthülle in der meernahen Fußstufe, der höhere Wasserdampf- und Staubgehalt und die häufigere Bewölkung führen neben einer gesteigerten Absorption zu einer stärkeren Streuung und Diffusion der Sonnenstrahlung, so daß der in den Hochlagen recht unbedeutende Anteil der diffusen Strahlung an der Globalstrahlung im küstennahen Halbwüstengebiet selbst bei wolkenfreiem Himmel meist zwischen 25—30 % beträgt. Nur im Winter und Frühjahr wurden ganz vereinzelt diffuse Strahlungsanteile von nur 15—20 % gemessen. Bei stärkerer Lufttrübung durch Sahara-Flugstaub kann die diffuse Strahlung auf 50 % anwachsen. Die direkte Einstrahlung auf den Boden ist jedenfalls merklich geringer als in den Hochlagen der Hauptinseln.

Tab. 1: Theoretische und tatsächliche Sonnenscheindauer und Globalstrahlung im Halbwüstengebiet von Lanzarote (Flughafen). Theoretische Sonnenscheindauer (ohne Bewölkung und Horizonteinengung) und theoretische Globalstrahlung (auf horizontaler Fläche für Außenrand der Atmosphäre) nach A. Muhlia und A. Chávez (1980), tatsächliche Sonnenscheindauer und Globalstrahlung für Flughafen Guasimeta nach A. Diaz Gutierrez (1983).

	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	
Theoret. SD für 29 °N	10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8	13.7	13.1	12.2	11.4	10.6	10.2	h/d
SD Flughafen 20m, 28 °57'N	6.6	7.6	8.2	8.8	9.7	10.3	10.1	9.8	8.8	8.1	6.5	6.4	h/d
Theoret. GS für 29 °N	22.0	26.7	32.2	37.2	40.1	41.2	40.6	38.3	34.2	28.7	23.4	20.7	MJ/m²d
GS Flughafen Guasimeta	12.8	16.5	20.1	23.1	25.4	26.5	25.9	24.6	21.1	17.9	12.7	11.9	MJ/m²d

Die Bodenoberfläche als eigentliche Energieumsatzfläche erwärmt sich durch die Einstrahlung je nach ihrer Beschaffenheit in unterschiedlichem Maße. Selbstverständlich schränken Beschattung und Bodenfeuchtigkeit die Erwärmung ein. Für den Energieumsatz der bestrahlten Oberflächen ist deren Reflektionsvermögen, die sog. „Albedo" wichtig, da dunkle und rauhe Oberflächen mit geringer Albedo mehr Strahlung absorbieren und sich stärker erhitzen können als helle und glatte Oberflächen mit großer Albedo. Tab. 2 weist erhebliche Albedounterschiede aus, die von 6—9 % bei dunklen Basalt-Lapilli bis zu 49—54 % bei hellen biogenen Kalksanden reichen. Die Albedowerte der Halbwüstenpflanzen liegen um 15 %. Meßtechnisch bleibt anzumerken, daß die Albedomessungen fehlerhaft sein mögen, da das dafür benutzte LI-COR Pyranometer LI-200 S bei Farbabweichungen vom normalen Sonnenlicht nicht mehr exakt registriert.

Erwartungsgemäß hängen die Maximaltemperaturen an der Bodenoberfläche in hohem Maße von der Materialbeschaffenheit ab. Bei Vergleichsmessungen der Luft- und Oberflächentemperaturen von Sand- und Lapillifeldern bei Famara-La Caleta in Nord-Lanzarote in der Periode vom 7. bis 31. Juli 1984 erreichte die dunkle Lapillioberfläche mittlere Tagesmaxima von 56,2° gegenüber 52,6° der helleren Sandoberfläche. Damit waren diese Oberflächen um 27—31° wärmer als die Luft in 150 cm Höhe (mittleres Tagesmaximum 25,2°). Als absolutes Maximum dunkler Lapillioberflächen wurde bei völliger Windstille 66,6° registriert. Entsprechende Messungen vom 9. bis 29. Juli 1979 in Nordost-Fuerteventura ergaben für helle biogene Kalksande (Albedo um 50 %) lediglich mittlere Maxima der Oberflächen von 42,1° und ein absolutes Maximum von 46,8° (Abb.2 und Tab. 4).

Tab. 2: Albedowerte verschiedener Oberflächen auf den Kanaren. — (Reflektion in % der auftreffenden Globalstrahlung, gemessen mit LI-COR Pyranometer LI-200 S).

Oberfläche	Albedo	Oberfläche	Albedo
Basaltfels	10—14 %	dunkelbrauner Feinboden	14—20 %
Basalt-Lapilli	6— 9 %	hellbrauner Feinboden	20—29 %
dunkler Lavasand	7—15 %	heller Boden mit Bruchstücken von Kalkkruste	29—34 %
grauer Sand	16—19 %	gelbbrauner Bims	20—28 %
heller Kalksand	49—54 %	Kalkkrusten	26—50 %
alle Oberflächen im trockenen Zustand			

Albedowerte von Pflanzen des Halbwüstengebietes:	
Traganum moquinii	14—17 %
Zygophyllum fontanesii	15—17 %
Launaea arborescens	
grün	16—20 %
abgestorben-grau	14—16 %
Polycarpaea sp.	15—20 %
Tamarix gallica	15,5 %
Mesembryanthemum sp.	13 %

Festes Gestein — auch dunkler Basaltfels — erreicht wegen des besseren Wärmeleitvermögens nur geringere Oberflächenmaxima als dunkles Lockermaterial. Bei unseren spätsommerlichen Messungen wurden Maxima von 50—52° nicht überschritten (Basalte auf Tenerife und Fuerteventura, vgl. auch L. Hempel 1980).

Im Buschschatten liegt die Oberflächentemperatur gewöhnlich nur 1,5—2° über der Lufttemperatur, so daß sich im Sommer gegen Mittag zwischen schattigen und besonnten Oberflächen auf kurze Distanz Unterschiede von 25—35° ergeben können. Neben Substrat, Albedo, Bewuchs und Bodenfeuchte nehmen natürlich auch Windstärke, Exposition und Hangneigung Einfluß auf die Oberflächentemperaturen, wodurch die kleinräumige mikroklimatische Differenzierung noch weiter verstärkt wird. Die Beziehung der maximalen Oberflächentemperaturen dunkler Lapilli zur Windgeschwindigkeit (gemessen in 2 m Höhe) wird aus der folgenden Meßserie (Juli 1984, Nord-Lanzarote) deutlich: 9.0 m/s = 47.1°, 7.2 m/s = 49.3°, 5.2 m/s = 55.9°, 3.8 m/s = 58.2°, 2.5 m/s = 60.8°, 2.0 m/s = 62.6°, 0 m/s = 64.0°. Alle Messungen erfolgten ungefähr zur Zeit des Sonnenhöchststandes bei wolkenfreiem Himmel. Mittägliche Temperaturunterschiede bis zu 10° wurden im Juli 1984 zwischen sonn- und schattseitigen Sandböschungen von jeweils 30° Hangneigung gefunden. Ähnliche Expositionsunterschiede teilen G. Wendler und F. Eaton (1983) aus Dünengebieten Tunesiens mit.

Die Lufttemperatur erreicht nahe der Oberfläche in 5 cm Höhe naturgemäß größere Tagesschwankungen und Extreme als in 150 cm Höhe (Tab. 3). Am Mittag und frühen Nachmittag ist die bodennahe Luft um 3—5° C wärmer. Als maximale Lufttemperatur in 5 cm Höhe wurde während unserer Messungen am 25. 7. 1984 38.8° C über einem Lapillifeld auf Lanzarote gefunden.

Die relative Luftfeuchtigkeit in Bodennähe ist während der Abend- und Nachtstunden gleich oder sogar geringfügig höher als 150 cm ü.d.O., an wolkenfreien Sommertagen jedoch bis rund 10 % geringer als dort (Tab. 3). Selbst bei längerfristigen Messungen bleibt die mittlere relative Feuchte der bodennahen Luftschicht tagsüber (7—22 h) noch rund 5 % geringer als in 150 cm Höhe. So ist die bodennahe Luft während der Tagesstunden deutlich wärmer und trockener als unter den meteorologischen Standard-Meßbedingungen.

Die Diagramme Abb. 3 liefern eine Zusammenschau energetischer und thermischer Komponenten des Mikro- und Bodenklimas anhand ausgewählter sommerlicher Tagesgänge nahe der Nordküste von Lanzarote (Hinterland der Playa Famara). Dabei werden Meßstellen mit Sandboden (links) und mit Lapillidecke über Lehm (rechts) miteinander verglichen. Da die Lapillidecke mit geringer Albedo die einkommende Globalstrahlung besser absorbieren kann, ergeben sich dort erwartungsgemäß günstigere Werte der Strahlungsbilanz als für das Sandfeld. Beim Lapillifeld macht die positive Strahlungsbilanz 62,8 % der empfangenen Globalstrahlung aus gegenüber nur 55,6 % beim Sanduntergrund. Zugleich erreicht das Lapillifeld höhere Temperaturen an der Oberfläche (bis

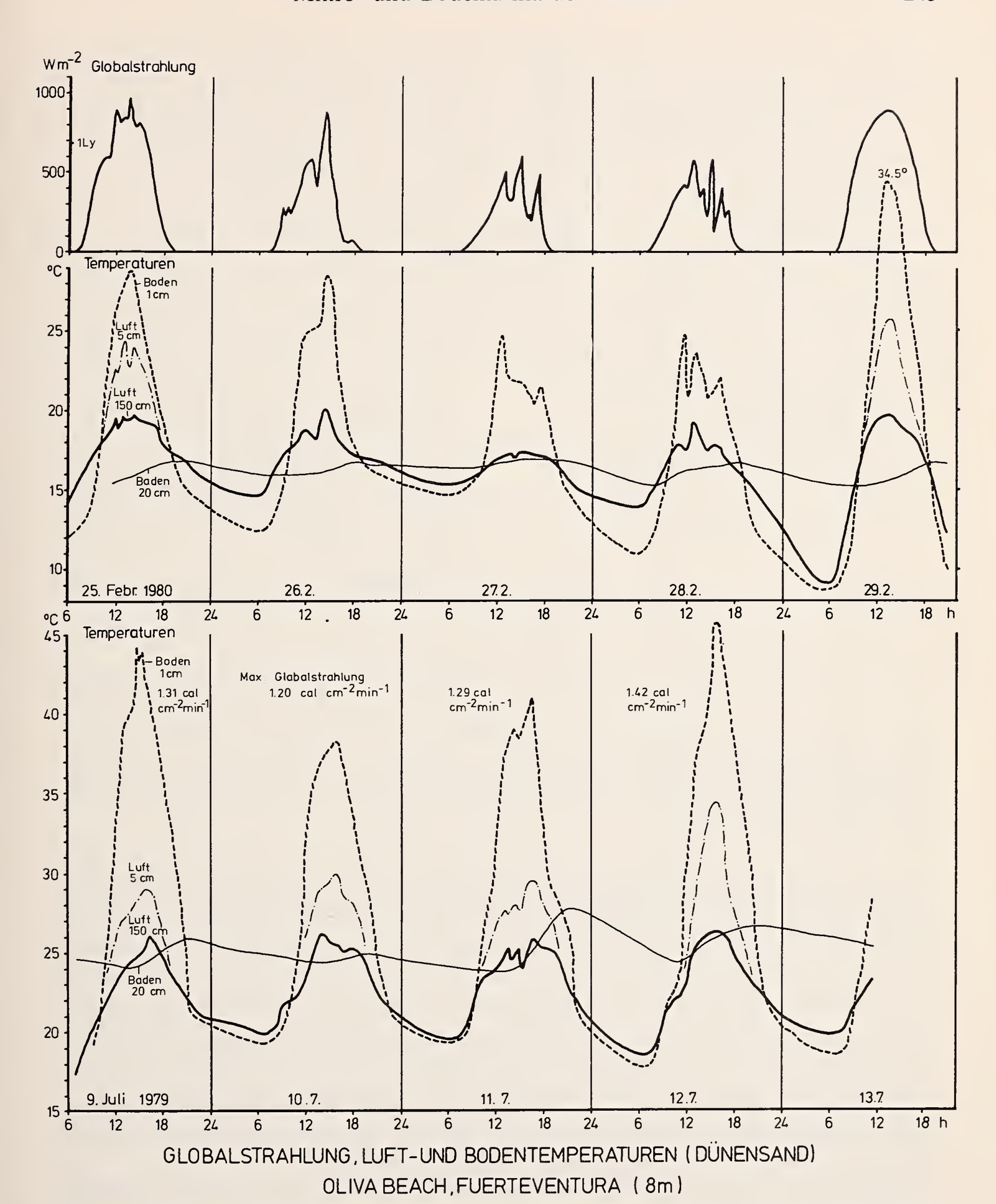


Abb. 2: Globalstrahlung, Luft- und Bodentemperaturen (Dünensand), Oliva Beach, Fuerteventura (8 m).

61,7 °) und in der bodennahen Luftschicht bei 5 cm Höhe. In beiden Fällen steigt die Differenz in der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 150 und 5 cm Höhe mittags auf rund 10 %.

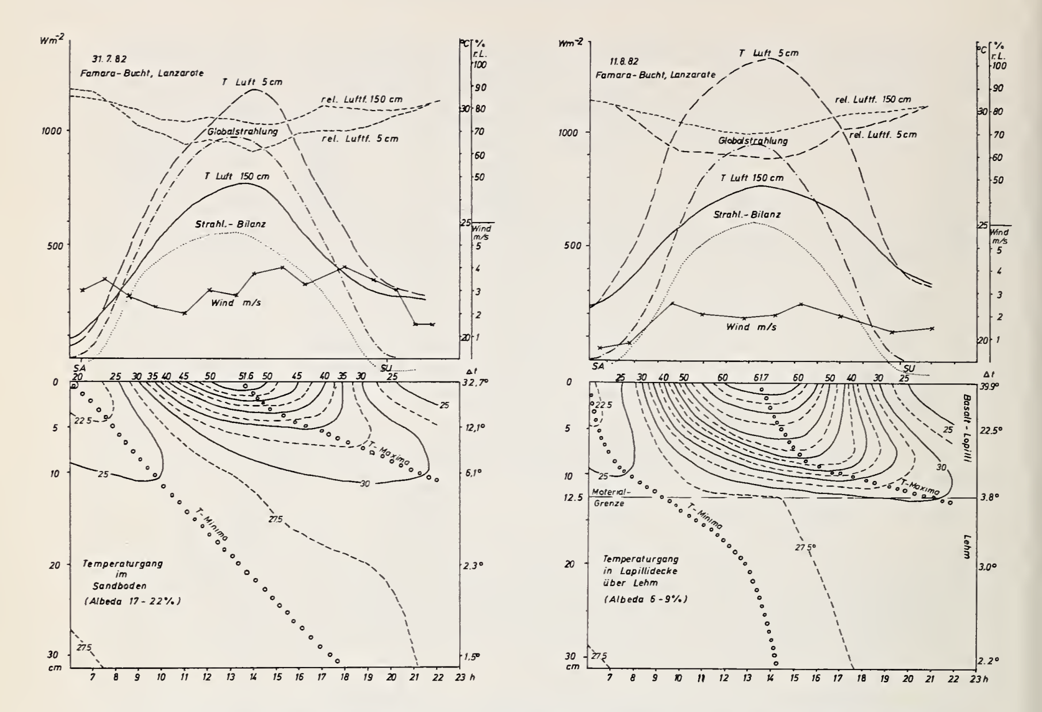


Abb. 3: Sommerlicher Tagesgang klimatischer Parameter in Luft und Boden, Famara-Bucht, Lanzarote (5 m)
Vergleich von Meßfeldern mit Sandboden (links) und mit einer 12,5 cm mächtigen Lapillidecke über Lehm (rechts).

Der untere Teil der Diagramme in Abb. 3 gibt den Tagestemperaturgang im Boden in einer Pedo-Isoplethendarstellung wieder. Dabei kommt sowohl die rasche tiefenwärtige Abnahme der Tagesschwankungen im trockenen Lockermaterial als auch die zeitliche Verzögerung der Temperatur-Minima und Maxima zum Ausdruck. Das Zusammendrängen der Isolinien in den oberen 10—12 cm des Bodens zeigt dort einen Wärmestau an, der in der Lapillidecke größer ist als im Sandboden. Die wärmeisolierende und zugleich verdunstungseinschränkende Eigenschaft von Lapilliauflagen macht man sich im speziellen kanarischen Trockenfeldbau zunutze (vgl. dazu u. a. J. Matznetter 1955, 1958, A. Hanle 1961, J. Corchero Cruz 1980 oder H. Pasenau 1981).

Entsprechende Messungen und Diagramme aus dem Winterhalbjahr führen im Prinzip zu ähnlichen Ergebnissen, doch sind die Temperaturen dann wegen der geringeren Energiezufuhr, der stärkeren Bewölkung und einer höheren Verdunstung der in dieser Zeit feuchteren Böden natürlich geringer. So sind im Winter die mikro- und bodenklimatischen Unterschiede auf kleinem Raum in der Regel weniger krass als im Sommer und Frühherbst. Die Zahlenzusammenstellung der Tabelle 4 liefert eine Übersicht der Ergebnisse von mikro- und boden-

klimatischen Messungen im Halbwüstengebiet der Ostinseln und in Südwest-Tenerife zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Wegen der ozeanischen Verzögerung des jahreszeitlichen Temperaturganges können die Messungen aus dem Februar und März als repräsentativ für die kühlere Jahreszeit und die Beobachtungen aus dem Juli und August als kennzeichnend für den Sommer angesehen werden. Aus technischen Gründen waren nicht in jedem Fall vollständige Meßserien zu gewinnen. Obwohl die Untersuchungen keinen zeitlichen Zusammenhang aufweisen und jeweils nur Perioden von 1—5 Wochen erfassen, können die angegebenen Mittelwerte und Extreme in ihrer räumlichen und zeitlichen Streuung doch eine hinreichende Vorstellung von der möglichen Spannweite der mikro- und bodenklimatischen Differenzierung in den Trockengebieten der Fußstufe vermitteln.

Das Wärmeklima der Halbwüstengebiete ist nach den vorliegenden Messungen keineswegs sonderlich extrem. Der ausgleichende Einfluß des Meeres und des kühlen Kanarenstromes mit negativen Anomalien von 2,5—3° sowie der tagsüber fast beständige und lebhafte Wind mit einer mittleren Geschwindigkeit um 4—5 m/s in 2 Meter Höhe über der Oberfläche wirken in der küstennahen Fußstufe dämpfend auf den Temperaturgang.

Der mittlere Jahresniederschlag erreicht im Halbwüstengebiet der Kanaren nur bis wenig über 100 mm. Der Atlas Basico de Canarias (1980, S. 29) verzeichnet für diese Bereiche durchweg unter 100 mm, doch liegen bei den längerfristig betriebenen Stationen die Werte etwas höher (Arrecife 135 mm, Los Estancos 102 mm, Tefia 112 mm). Wie allgemein in Trockengebieten ist jedoch auf das Mittel der Niederschläge kein Verlaß. So differieren z. B. für Los Estancos (Fuerteventura) die Niederschlagssummen der einzelnen Jahre zwischen 0,6 mm (1966) und 279 mm (1953). Die mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag über 1 mm liegt bei 10—20 im Jahr. Das absolute Maximum der Tagessumme kann 40—67 mm erreichen. Wenn auch die verbreitete Behauptung übertrieben ist, daß der Niederschlag auf den Ostinseln jahrelang völlig ausbleiben kann, so stellt der niederschlagsarme Sommer zweifellos eine ökologisch kritische Phase dar.

Die Bodenfeuchtigkeit sinkt dann weithin unter den Welkepunkt ab, freilich mit erheblichen Unterschieden je nach Substrat und Geländeformen. Z. B. wurden im Juli und August folgende Bodenwassergehalte (Gewichtsprozent) in 20 cm Tiefe unter der Oberfläche gemessen: lockere reine Dünensande 0—2 %, Sandfelder („jable") mit Humusbeimengungen 1—5 %, Tonboden 6—7 %, sowie lehmiger Boden unter Lapillidecke („enarenado artifical") 7—16 %. Die bekannte feuchtigkeitskonservierende Eigenschaft von Lapilli-Auflagen wird vom speziellen Trockenfeldbau vornehmlich auf Lanzarote in wachsendem Maße ausgenutzt. Dabei ist wohl die isolierende und verdunstungseinschränkende Funktion solcher Auflagen entscheidend.

Kleinräumige Unterschiede in der Feuchtigkeit der oberen Bodenlage werden vor allem durch den Wechsel offener und beschatteter Oberflächen hervorgerufen. Pflanzenbüschel und dichtwüchsige Sträucher führen zu einer höheren

Tab. 3: Tagesgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in 150 cm und 5 cm Höhe über dem Boden (Halbwüstengebiet der Ostinseln).

Zeit		6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21	21–22
1. N-Lanzarote, Playa Famara, ca. 5 m, 24. 7.–19. 8. 83																	
T Luft	150 cm	20.7	21.4	22.0	22.7	23.6	24.1	24.5	24.8	24.7	24.5	23.8	23.2	22.5	21.8	21.3	21.2 °C
T Luft	5 cm	20.5	21.8	23.1	24.3	25.6	27.0	28.0	28.3	28.1	27.6	26.4	25.1	24.0	22.4	21.7	21.3 °C
Rel. LF	150 cm	85	84	82	79	77	75	74	74	73	74	76	81	81	84	85	86 %
Rel. LF	5 cm	84	83	81	74	74	65	65	67	67	68	69	74	76	81	84	85 %
2. N-Lanzarote, Playa Famara, ca. 5 m, 7.–31.7. 84																	
T Luft	150 cm	19.9	21.7	23.3	23.4	24.0	24.6	24.6	25.2	25.1	24.6	24.2	23.1	22.3	21.6	21.0	20.9 °C
T Luft	5 cm	19.8	21.9	24.6	25.3	26.8	27.8	28.1	28.6	29.8	27.5	27.2	25.6	24.2	22.5	21.3	21.1 °C
Rel. LF	150 cm	93	86	83	82	79	78	78	76	78	79	83	86	87	90	90	91 %
Rel. LF	5 cm	94	85	76	76	71	70	67	65	64	70	71	76	78	87	90	91 %
3. E-Fuerteventura, Caleta de Fustés, ca. 25 m, 11.–23. 3. 84																	
T Luft	150 cm	13.9	15.2	16.9	18.3	19.5	20.6	20.9	21.2	21.1	20.8	20.9	19.2	18.5	17.1	17.0	16.9 °C
T Luft	5 cm	13.7	14.2	17.0	20.9	21.7	24.0	24.3	24.5	24.1	22.9	22.8	20.4	19.5	17.2	17.0	16.4 °C
Rel. LF	150 cm	74	72	70	64	62	62	61	61	61	61	61	62	64	66	67	68 %
Rel. LF	5 cm	82	78	72	59	57	56	55	54	54	55	57	60	66	72	74	75 %

Tab. 6: Theoretische und tatsächliche Sonnenscheindauer und Globalstrahlung in der Hochgebirgsstufe von Tenerife.

	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	
Theoret. SD für 28°N	10.4	11.1	11.9	12.7	13.4	13.7	13.6	13.0	12.2	11.4	10.7	10.3	h/d
SD Izaña 2367 m, 28° 18'	8.0	8.2	8.9	9.9	11.8	12.3	12.5	11.8	10.1	8.2	6.7	6.9	h/d
Theoret. GS für 28°N	22.6	27.2	32.6	37.3	40.1	41.1	40.5	38.3	34.4	29.1	24.0	21.3	MJ/m^2d
GS Izaña (n. Ríos Navarro 1982)	11.0	15.2	16.1	17.4	27.4	28.6	22.4	22.1	18.1	15.2	15.4	11.9	MJ/m^2d
GS Cañadas (eigene Berechnung)	15.6	17.7	21.8	26.1	29.8	31.6	31.2	29.7	24.3	18.0	13.4	12.8	MJ/m^2d

Bodenfeuchte, da durch den Beschattungseffekt die Verdunstung eingeschränkt wird. Niederschlagsverluste durch Interzeption machen sich demgegenüber kaum bemerkbar (vgl. dazu auch P. Frankenberg und M. Richter 1981, S. 263).

Wieweit die vielgenannte nächtliche Kondensation von Tau für den Bodenwasserhaushalt und die biologischen Prozesse von Bedeutung ist, bedarf noch weiterer Untersuchungen. Bei unseren sommerlichen Untersuchungen und Messungen auf den Ostinseln über fast 4 Monate Gesamtdauer hinweg kam es im Mittel nur jede 4. bis 5. Nacht zur Taubildung an der Oberfläche. Dabei waren die Mengen in der Regel so gering, daß sie rasch der frühmorgendlichen Verdunstung anheimfielen. Als maximale Taumenge wurden am 19. 7. 84 55—60 g Wasser pro Quadratmeter gemessen, was einem Niederschlag von nur 0,05—0,06 mm entsprechen würde und damit unbedeutend ist. Soviel können auch einzelne Nieselregen im Sommer liefern, die gar nicht einmal selten sind. A. Hanle fand bei Taumessungen im Herbst 1958 auf Lanzarote mittlere Taumengen in der Größenordnung von 2,5 g pro Quadratmeter und hält diese Menge ebenfalls für zu gering, um den Wasserhaushalt des Bodens nennenswert zu beeinflussen (A. Hanle 1961, S. 160).

Für die Organismen mag noch von Bedeutung sein, daß die Transpiration auch im Sommer durch eine hohe relative Luftfeuchtigkeit um 70—80 % sowie durch reibungsbedingt reduzierte Windgeschwindigkeit am Boden zwischen den Sträuchern herabgesetzt wird.

Als mechanisch wirksamer ökologischerFaktor in der bodennahen Luftschicht ist noch die Sanddrift zu nennen, wie sie vornehmlich in den Dünengebieten eine Rolle spielt. Der äolischen Verdriftung unterliegen vor allem Mittel- und Feinsande im Korngrößenbereich von 0,6—0,1 mm. Die Sandverlagerung erfolgt durchschnittlich zu einem knappen Viertel rollend auf der Bodenoberfläche (Reptation) und zu gut drei Vierteln springend-fliegend in der bodennahen Luftschicht (Saltation). Die kritische Schubspannung zur Mobilisierung der Sande liegt bei einer unteren Grenzgeschwindigkeit des Windes um 4,5 m/s (gemessen in 10—15 cm Höhe). Die verlagerten Sandmassen wachsen mit zunehmender Windgeschwindigkeit rasch an: auf einem Meter Querschnitt von 4,5—5,5 Liter pro Stunde bei 4,5—5 m/s auf ca. 20—25 Liter pro Stunde bei 6—6,5 m/s (Messungen in N-Lanzarote). Dabei wird rund 90 % der gesamten Sandmenge in der bodennahen Luftschicht bis 10 cm Höhe verlagert, wo sich dann Probleme für Pflanzen oder Kleintiere ohne spezielle Anpassungen ergeben können. Augenscheinlich meiden manche malakophyllen Pflanzen die Gebiete mit mobilen Flugsanden, während typische Halbwüstenpflanzen wie z. B. *Launaea* häufig aerodynamisch geprägte Wuchsformen entwickeln (vgl. auch V. Pauly 1976, S. 36, für S-Tenerife).

Die stationären Messungen des Mikro- und Bodenklimas in der Halbwüsten-Fußstufe waren ganz überwiegend auf den küstennahen Bereich beschränkt. Aufgrund stichprobenartiger Testmessungen muß für das Landesinnere mit extremeren thermischen und hygrischen Werten gerechnet werden.

Tab. 4: Mikro- und bodenklimatische Daten aus den Halbwüstengebieten der Fußstufe.

Lokalität Periode	NE-Fuerteventura Oliva Beach ca. 10 m 25.2.—2.3.1980 (7 Tage)	NE-Fuerteventura wie vor. 9.—29. 7. 1979 (21 Tage)	E-Fuerteventura Caleta de Fustés, 25 m 11.—23.3. 1984 (13 Tage)	S-Lanzarote Pto del Carmen ca. 25 m 30.3.—9. 4. 1981 (21 Tage)
Luft-T 150 cm				
Tagesmittel	15.8	22.7	17.2	17.7
Mittl. Minimum	12.1	19.2	12.8	13.2
Absol. Minimum	7.0	17.4	10.9	10.4
Mittl. Maximum	19.5	26.1	21.4	22.2
Absol. Maximum	20.4	27.5	23.2	24.2
Mittl. Tagesschwankung	7.4	6.9	8.6	9.0
Luft-T 5 cm				
Mittl. Minimum	—	—	12.0	—
Absol. Minimum	—	—	—	—
Mittl. Maximum	22.5	—	24.5	—
Absol. Maximum	—	—	26.8	—
Mittl. Tagesschwankung	—	—	12.5	—
Rel. Luftfeuchte (nur tagsüber)				
150 cm	72.9 %	73.2 %	64.8 %	70.2 %
5 cm	—	—	64.1 %	—
Bodentemperaturen	heller Sand	heller Sand	dunkle Lapilli	Lapilli über Lehm
Bodenoberfläche				
Mittl. Minimum	10.6	19.2	11.2	13.7
Absol. Minimum	5.4	17.4	9.1	10.8
Mittl. Maximum	28.7	42.1	41.1	39.8
Absol. Maximum	34.6	46.8	46.6	55.0
Mittl. Tagesschwankung	18.1	27.6	29.9	26.1
Boden 20 cm				
Mittl. Minimum	15.7	23.8	—	16.4 (17 cm)
Absol. Minimum	15.0	22.2	—	15.0 ,,
Mittl. Maximum	17.0	26.6	—	20.2 ,,
Absol. Maximum	17.2	27.8	—	21.9 ,,
Mittl. Tagesschwankung	1.3	2.8	—	3.8 ,,
Piche-Verdunstung (Mittelwerte)				
8—20 h	8.1 ccm	8.8 ccm	14.0 ccm	9.8 ccm
20— 8 h	4.9 ccm	4.3 ccm	4.4 ccm	3.6 ccm
Tagessumme	13.0 ccm	13.1 ccm	18.4 ccm	13.4 ccm
Wind-Geschwindigkeit (tagsüber)				
Mittel 2 m ü.d.O.	4.8 m/s	4.4 m/s	4.6 m/s	4.4 m/s
Mittel 15 cm ü.d.O.	3.0 m/s	2.7 m/s	2.8 m/s	2.6 m/s
Abs. Max. 2 m ü.d.O.	8.0 m/s	9.4 m/s	11.0 m/s	13.0 m/s

N-Lanzarote **Playa Famara 5 m** **19. 7.–21. 8. 1982** **(34 Tage)**		**N-Lanzarote** **wie vor.** **24. 7.–20. 8. 82** **(28 Tage)**	**N-Lanzarote** **wie vor.** **7.–31. 7. 84** **(24 Tage)**		**SW-Tenerife** **bei Pl. Paraiso** **ca. 20 m** **26. 3.–6. 4. 1983** **(12 Tage)**
23.1		22.8	22.6		18.9
20.0		20.2	19.4		15.9
18.3		18.9	16.9		14.8
25.8		25.4	25.2		21.9
30.8		26.8	32.5		23.5
6.1		5.2	5.8		6.0
20.1		20.5	19.5		—
18.1		18.8	16.7		—
29.1		28.3	29.8		26.6
33.6		31.2	36.5		27.8
9.0		7.8	10.3		11.0
79.5 %		78.4 %	83.7 %		64.0 %
73.6 %		73.2 %	76.9 %		58.7 %
Lapilli ü. Lehm	brauner Sand	Lapilli	Lapilli	Sand	dunkelgrauer Sand
21.2	20.0	20.6	19.6	19.6	17.4
17.6	19.0	18.5	16.7	16.6	16.5
51.6	46.2	53.0	56.3	52.5	48.0
66.6	49.6	62.0	64.0	61.4	55.6
30.4	26.2	32.4	36.7	32.6	32.5
	(7 Tage)			(8 Tage)	
26.4	26.7	—	—	26.9	—
25.9	26.1	—	—	26.7	—
28.2	28.0	—	—	29.4	—
29.3	29.0	—	—	30.1	—
1.8	1.3	—	—	2.5	—
6.8 ccm		7.7 ccm	8.1 ccm		—
2.0 ccm		2.0 ccm	2.5 ccm		—
8.8 ccm		9.7 ccm	10.6 ccm		—
4.6 m/s		5.2 m/s	4.5 m/s		2.2 m/s
2.9 m/s		3.8 m/s	2.7 m/s		— m/s
11.5 m/s		11.0 m/s	14.0 m/s		5.5 m/s

Das Mikro- und Bodenklima in der waldfreien Hochgebirgsstufe

Stationäre mikro- und bodenklimatische Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten wurden in Hoch-Tenerife an drei Stellen durchgeführt: an der Nordseite der Cumbre Dorsal ca. 1,2 km östlich von El Portillo bei 2140 m, am Südrand des Cañadas-Beckens ca. 1 km südöstlich des Parador bei 2170 m und an der Südabdachung der Cañadas-Berge bei Los Retamares (2240 m). Da das Material zum größten Teil bereits veröffentlicht wurde (P. Höllermann 1978, 1979, 1980, 1982), genügt eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Die Vegetation der zumeist recht offenen Gebirgs-Buschformation des Teide-Ginsters (*Spartocytisus supranubius*) ist von L. Ceballos und F. Ortuño (1951), E. Oberdorfer (1965), V. Voggenreiter (1974) sowie von E. Martinez de Pison und F. Quirantes (1981) ausführlich behandelt worden.

Makroklimatische Daten aus der Hochregion stehen vom Höhenobservatorium Izaña auf der Cumbre Dorsal (2367 m) sowie für wenige Jahre (1910—1916) von der Cañada de la Grieta im südlichen Cañadas-Becken (2130 m) zur Verfügung (vgl. Tab. 5; ausführlichere Angaben und Quellen bei P. Höllermann 1982, S. 59 f.).

Tab. 5: Ausgewählte makroklimatische Daten aus der Hochregion von Tenerife.

Station und Höhe	T Jahresmittel	T Januar	T August	Jahres-Niederschlag	Mittl. rel. LF	Mittl. Bewölkung
Izaña (2367 m)	9.5°	4.1°	17.6°	461 mm	46 %	26 %
La Grieta (2130 m)	9.1°	3.5°	16.4°	(345 mm)	42 %	21 %

Im wolkenarmen subtropischen Hochgebirgsklima oberhalb der Passatinversion ist die Einstrahlung langdauernd und intensiv. Der Anteil der direkten Sonnenstrahlung an der Globalstrahlung ist besonders hoch, d.h. die Licht-Schatten-Unterschiede sind besonders krass. Unsere Messungen zur Zeit des Sonnenhöchststandes an einem völlig klaren Juli-Tag in den Cañadas ergaben einen Anteil der diffusen Himmelsstrahlung von lediglich 5 % der Globalstrahlung. Izaña erreicht rund 80 % und selbst im Winterhalbjahr noch 68 % der theoretisch möglichen Sonnenscheindauer (Tab. 6). Die bei M. Ríos Navarro (1982) angegebenen berechneten Strahlungsmengen für Izaña erscheinen nach den eigenen Erfahrungen zu niedrig. Nach unseren nur kurzfristigen Messungen in den Cañadas lassen sich unter Berücksichtigung von Sonnenscheindauer und Bewölkung die Monatsmittel der Globalstrahlung für Juli auf 720—740 Ly/d und für Februar auf etwa 410 Ly/d abschätzen (1 Ly = 1 cal/cm^2 = 11,63 Wh/m^2). Auf dieser freilich unsicheren Grundlage ist der Jahresgang der Globalstrahlung für Hoch-Tenerife in der letzten Zeile der Tabelle 6 berechnet worden. Unser Gebiet würde danach rund 70 % der theoretischen Globalstrahlung am Außenrand der Atmosphäre erhalten. Ungeachtet der Unzuverlässigkeit solcher Berechnungen

im Detail steht außer Zweifel, daß in den wolkenarmen Hochlagen von Teneriffe ein besonders großer Energieumsatz stattfindet, der sich wegen der weithin recht offenen und lückenhaften Vegetation der Gebirgs-Halbwüste (im Sinne von E. Oberdorfer 1965) ganz überwiegend an der Boden- und Gesteinsoberfläche vollzieht und damit im mikro- und bodenklimatischen Bereich wirksam wird.

Wiederum wird der Energieumsatz von der Oberflächenalbedo modifiziert, die z. B. für trockenen dunklen Lavasand 7—15 %, für Basaltfels 10—15 % und für die hellen Bimsdecken 20—28 % beträgt. Für *Spartocytisus* wurde eine Albedo von 12—13 % gemessen.

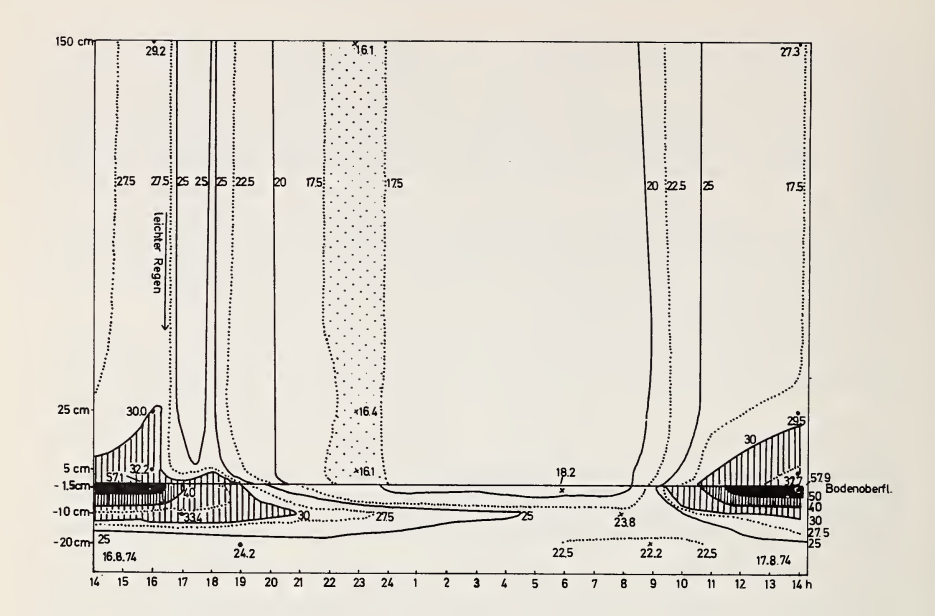
Am Mittag und frühen Nachmittag führt die intensive Einstrahlung zu einer beträchtlichen Aufheizung der trockenen oberen Bodenlage. Als maximale Temperaturen der Bodenoberfläche wurden bei stärkster Einstrahlung im Sommer (Juni/Juli) 57°—65° C und im Winter (Dezember/Januar) 37,5—48° C gemessen. Die höchsten Werte fanden sich in dunkler trockener Feinerde sowie in dunklem Lavasand, während helle Bimsdecken bis zu 10° gegenüber den genannten Extremen zurückblieben. Felsoberflächen oder große Blöcke mit höherer Wärmeleitfähigkeit erreichen kaum Maximaltemperaturen von 50°. Die größte für eine dunkle Felsoberfläche gemessene Tagesamplitude betrug knapp 40°, für die Bodenoberfläche in trockenem Lockermaterial hingegen 55,7°.

Die Bodentemperaturen im Buschschatten kommen den Lufttemperaturen nahe. Aus zahlreichen Einzelmessungen der Minima und Maxima im Freiland (x) und Buschschatten (y) ergeben sich als Beziehung zwischen Freiland- und Buschschatten-Oberflächentemperaturen die folgenden Regressionsgleichungen:

maximale Oberflächentemperaturen: $y = 0{,}72\,x - 10{,}24$
minimale Oberflächentemperaturen: $y = 0{,}89\,x + 1{,}92$.

Daraus lassen sich für die beschatteten Bodenoberflächen die zu erwartenden absoluten Extreme auf rund +35,5° und —3,0° berechnen. Das gilt für die Station nahe El Portillo, während für das Cañadas-Becken mit größeren Extremen zu rechnen ist. Im Sommer können auf kleinstem Raum zwischen bestrahlten und schattigen Oberflächen gleichzeitig Temperaturunterschiede bis über 30° auftreten.

Die Abb. 4 (oberer Teil) stellt einen vollständigen Tagesgang der Luft- und Bodentemperaturen für den 16. und 17. August 1974 aus den Cañadas südlich des Parador bei 2170 m Höhe dar. Die Ordinate zeigt die Höhe über und unter der Bodenoberfläche, die Abzisse die Tagesstunden. Gleiche Temperaturen sind durch Isolinien verbunden. Dem Diagramm ist z. B. zu entnehmen, daß die Temperaturen der unbewachsenen trockenen Bodenoberfläche im Laufe dieses Tages zwischen 18,2° und 57,9° variieren (Tagesschwankung 39,7°), während die Schwankung im Boden tiefenwärts rasch abnimmt und bei 20 cm nur noch 2° erreicht. Dem Tagesgang der Lufttemperatur in 150 cm Höhe zwischen 16,1° und 29,2° (Schwankung 13,1°) steht ein solcher der bodennahen Luftschicht bei 5 cm Höhe von 16,1° bis 32,7° (Schwankung 16,6°) gegenüber. Zur Zeit der



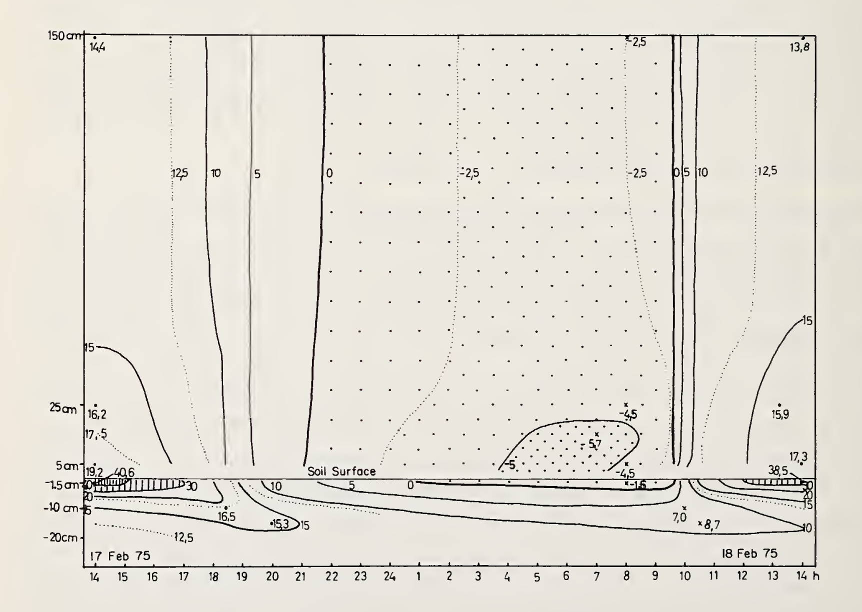


Abb. 4: Tagesgang von Luft- und Bodentemperaturen in den südlichen Cañadas ca. 1 km südöstlich des Parador (2170 m). Oben 16./17. 8. 74 (Sommer), unten 17./18. 2. 75 (Winter).

stärksten Aufheizung am frühen Nachmittag ist die bodennahe Luft rund 5° wärmer und zudem fast 10 % trockener als in 150 cm ü.d.O. Die Lufttemperatur im Buschschatten oder in Felsspalten (im Diagramm nicht erfaßt) kommt der Lufttemperatur in 150 cm Höhe nahe bzw. liegt tagsüber nur wenig darüber. Der vorgestellte Fall ist recht typisch für den sommerlichen Tagesgang in Hoch-Tenerife, abgesehen vom singulären leichten Regen am frühen Nachmittag des 16. August und der damit verbundenen zeitweiligen Abkühlung.

Auf der breiteren Basis zahlreicher sommerlicher Terminbeobachtungen an wolkenfreien oder wolkenarmen Tagen ergibt sich für die bodennahe Luftschicht bei 5 cm gegenüber der Luft in 150 cm Höhe eine mittlere Temperaturdifferenz von + 5,5° (maximale Differenz bis 10,3°) während der Zeit größter Einstrahlung am Mittag und frühen Nachmittag. Während des nächtlichen Minimums ist die bodennahe Luft im Mittel 3,9° (maximal 5,1°) kälter als in 150 cm ü.d.O. Die mittlere Temperaturschwankung an Sommertagen liegt in der bodennahen Luft um 9,4° höher als 150 cm über der Bodenoberfläche. Als absolute Maxima der Luft wurden in 150 cm 30,6° und in 5 cm 36,1° registriert (Cañadas).

Im Winter ist der Tagesgang des meteorologischen Geschehens wesentlich unregelmäßiger als im Sommer und die nächtlichen Temperaturminima sinken häufig unter den Gefrierpunkt ab. Das Observatorium Izaña (2367 m) in Bergrückenlage verzeichnet unter Standardbedingungen ein langfristiges Mittel von 63 Frosttagen im Jahr, während dort in Bodennähe bei 10 cm Höhe bereits 104 Frosttage im Mittel vorkommen. Häufigere und auch intensivere Fröste treten durch nächtliche Temperaturinversionen in der Hohlform der Cañadas auf, wo die Station La Grieta (2130 m) im Jahr 1910 in 110 cm ü.d.O. insgesamt 202 Frosttage aufwies. Dort sind selbst die Sommermonate nicht frostfrei. Die frostklimatische Sonderstellung des Cañadas-Kessels kommt auch in den absoluten Minima deutlich zum Ausdruck: Cañada de la Grieta (2130 m) —17,8°, Feldstation östlich von El Portillo (2140 m) —5,8°, Izaña (2367 m) —8,2°, Mña. Guajara (2717 m) — 8,5° und Teide-Gipfel (bei 3700 m) —13,7° (vgl. dazu u. a. B. Tzschirner 1921). Wegen unterschiedlicher Beobachtungsperioden sind diese Werte allerdings nicht streng vergleichbar.

Häufige Bodenfrostwechsel, die jedoch nur wenige Zentimeter tief in den Untergrund eindringen, führen bei hinreichender winterlicher Bodenfeuchte zur Bildung von Miniatur-Frostmusterböden sowie zu erheblichen flachgründigen Materialbewegungen am Hang insbesondere durch die sog. „Kammeis-Solifluktion" (P. Höllermann 1978a, 1982). Die winterliche Schneebedeckung ist in Normaljahren nur mäßig und selten für längere Zeit zusammenhängend. Die Auflösung der Schneedecke in Abhängigkeit von Relief, Bewuchs, Exposition und Beschattung führt wiederum zu ausgeprägten Unterschieden im Mikro- und Bodenklima auf kleinstem Raum (vgl. P. Höllermann 1982, S. 154 ff.). Die Schneeaufzehrung erfolgt an Strahlungstagen überwiegend durch Sublimation. Im Frühjahr sind in den höchsten Lagen kleine periodische Büßerschneeformen nicht ungewöhnlich.

Der winterliche Tagesgang in den Cañadas wird durch die Darstellung Abb. 4 (unten) für den 17. und 18. Februar 1975 veranschaulicht. In Bodennähe werden gegen Ende der Nacht Fröste bis —5,7 ° C erreicht. Die Temperatur-Tagesschwankung wächst von 16,9 ° in 150 cm ü.d.O. auf 23,7 ° in 5 cm ü.d.O. und auf 42,2 ° an der Bodenoberfläche. Der Boden (sandreicher Regosol) gefriert während der Nacht wenige Zentimeter tief. 20 cm unter der Oberfläche erreicht die Tagesschwankung nur noch 2,5 °. Die Werte beziehen sich auf unbewachsenen Boden.

Beschattung und höhere Bodenfeuchtigkeit wirken naturgemäß dämpfend auf den Temperaturgang. Eine mehrtägige Meßserie aus dem Testgebiet östlich von El Portillo vom November 1977 stellt die Unterschiede des Mikro- und Bodenklimas zwischen Freiland und Buschschatten näher dar (Abb. 5). Im Buschschatten sind Nachtfröste seltener und die Temperaturextreme abgeschwächt. Bei feuchten Böden bleiben die winterlichen Oberflächen-Maxima gegenüber denen eines trockenen Bodens um rund 20 ° zurück.

Aufgrund zahlreicher Einzelmessungen in der Hochregion an Tagen mit fehlender oder geringer Bewölkung lassen sich auch für den Winter die mittleren Temperaturunterschiede zwischen der Luft in 5 und 150 cm Höhe angeben. Zur Zeit stärkster Einstrahlung ist die bodennahe Luft bei 5 cm im Mittel 2,2 ° (maximal 4,9 °) wärmer und während des nächtlichen Minimums um 1,7 ° (maximal 2,7 °) kälter als in 150 cm ü.d.O.

Die relative Luftfeuchtigkeit weist in der Hochregion größere periodische und aperiodische Schwankungen auf als in der meernahen Fußstufe. Für die Stationen Izaña und La Grieta liegen die Mittelwerte in den Sommermonaten um 25 % und in den Wintermonaten um 55—60 %. Ähnliche Werte ergaben sich aus Hygrographenregistrierungen für unsere Teststation östlich von El Portillo. Die im Buschschatten gemessenen Werte für die bodennahe Luftschicht lagen im Sommer etwas niedriger und im Winter etwas höher als unter Standardbedingungen von Meßhütten. Im Hochwinter steigert nämlich die größere Bodenfeuchte und die gelegentliche Wasserkondensation an den Büschen die Luftfeuchte. Minimalwerte der relativen Luftfeuchtigkeit bis unter 10 % wurden gelegentlich in der zentralen Cañadas gemessen. Die mittlere Tagesschwankung der relativen Feuchte beträgt in der bodennahen Luftschicht 10—15 %, wobei jedoch schon kurzfristig erhebliche Unregelmäßigkeiten auftreten können. In der strahlungsreichen und lufttrockenen Hochregion ist das sommerliche Verdunstungspotential deutlich größer als in der meernahen Fußstufe und begünstigt die rasche Austrocknung strahlungsexponierter Oberflächen.

Messungen der Verdunstung mit dem Piche-Evaporimeter ergaben in den Wintermonaten Tagesmittel um 12—14 cm und in den Sommermonaten Werte von 20—23 cm, die damit erheblich über den Tagesmitteln der Fußstufe liegen (vgl. mit Tab. 4). In den Cañadas können absolute Tagesmaxima bis über 35 ccm auftreten. Die Piche-Messungen liefern jedoch nur Relativwerte der Verdunstung, während sich die potentielle Evapotranspiration in der Hochregion

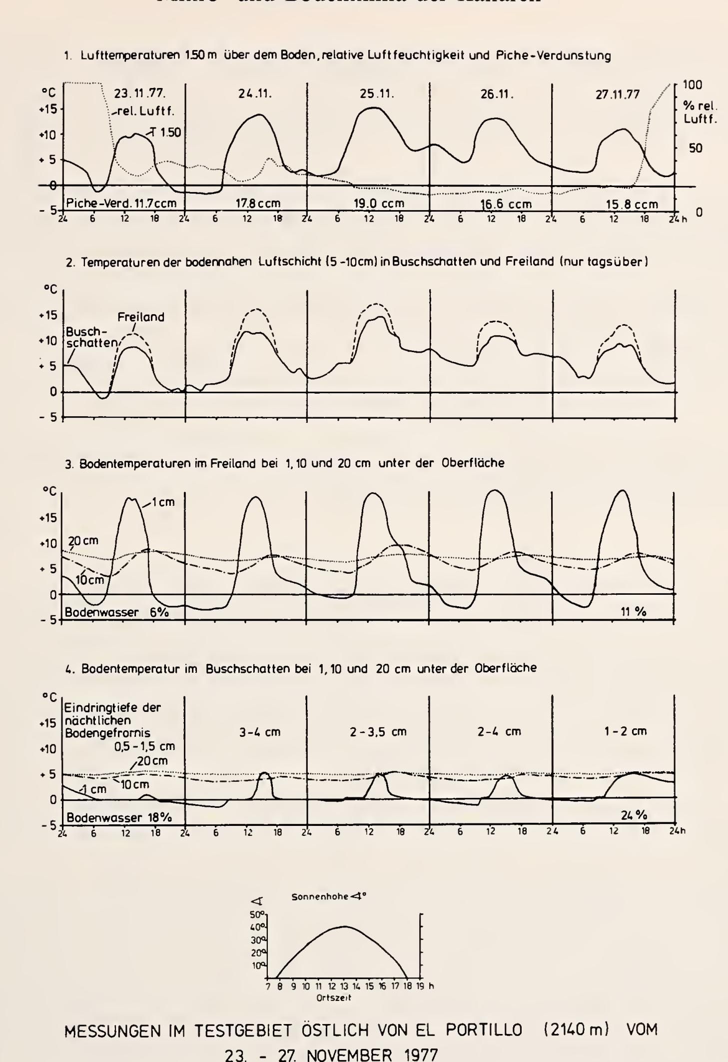


Abb. 5: Messungen im Testgebiet östlich von El Portillo (2140 m) vom 23.—27. November 1977.

mit Hilfe der Haude-Formel nur unsicher auf 1000—1300 mm pro Jahr berechnen läßt.

Der mittlere Jahresgang der Bodenfeuchtigkeit für die Meßstelle östlich von El Portillo ist aus der Isoplethendarstellung der Abb. 6 zu erkennen. Das Diagramm basiert auf über 100 Einzelmessungen. Während der Boden im Winter über 22 Gewichtsprozent Wasser enthält, trocknet die obere Lage im Sommer auf unter 2,5 % und damit unter den Welkepunkt aus. Diese Austrocknung bleibt

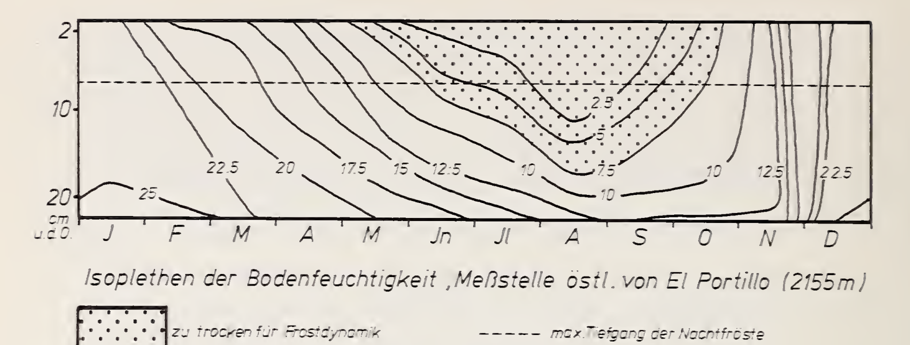


Abb. 6: Isoplethen der Bodenfeuchtigkeit, Meßstelle östlich von El Portillo (2155 m). Wassergehalt des Bodens in Gewichtsprozent.

jedoch ein Oberflächenphänomen. Im Buschschatten liegt die Bodenfeuchte im Jahresmittel rund 5 % höher als im Freiland. Im abgeschirmten Cañadas-Becken ergaben die an mehreren Teststellen wiederholt durchgeführten Messungen deutlich geringere (im Mittel nur etwa halb so große) Bodenfeuchtewerte wie an der Cumbre bei El Portillo. Die relativ höchsten Bodenfeuchtemengen fanden sich in den Cañadas in lokalen Geländedepressionen mit Zuschußwasser sowie unter dem Schutz von Bimslapilli-Auflagen.

Auf eine Zusammenstellung der mikro- und bodenklimatischen Meßdaten aus der Hochregion vergleichbar der Tabelle 4 wurde verzichtet. Solche Datensammlungen sind bei P. Höllermann (1978 b, 1982) zu finden.

In den waldfreien Hochlagen von Tenerife existieren offenbar zwei ökologisch kritische Jahreszeiten: der strahlungsreiche Sommer mit einer Aufheizung der Bodenoberfläche bis 65 ° und einer Austrocknung des Oberbodens bis unter den Welkungskoeffizienten, sowie der Winter mit unbeständiger Witterung, häufigen Nachtfrösten und frostdynamischen Bodenbewegungen an der Oberfläche. Die phänologisch günstigste Zeit für das Wachstum und Blühen der Gebirgsvegetation ist das späte Frühjahr.

Schluß

Die unter genormten Bedingungen in den meteorologischen Hütten der Observatorien gewonnenen makroklimatischen Daten sind unzureichend, um die klimaabhängigen ökologischen Bedingungen zu erfassen, denen die Organismen in der Grenzschicht Atmosphäre-Boden ausgesetzt sind. Das dafür wesentliche Bestands-, Mikro- und Bodenklima erweist sich bei näherer Untersuchung als außerordentlich stark differenziert in Raum und Zeit. Es entzieht sich daher einer standardisierten Erfassung, kann jedoch mit Hilfe mobiler Feldstationen

und stichprobenartiger Einzelmessungen in seiner tatsächlichen Spannweite untersucht werden. Dafür wurden aus der Vielfalt der Lebensräume der Kanaren als Beispiele die Halbwüstengebiete in der Fußstufe und die waldfreie Hochgebirgsstufe ausgewählt.

Die große Spannweite des Mikro- und Bodenklimas kommt durch die Interaktion von Energieumsatz an der Oberfläche, atmosphärischer Dynamik, Vegetation, Relief und Substrat zustande. Eingriffe und Störungen einzelner Komponenten können erhebliche Auswirkungen auf das Mikroklima und die Lebensbedingungen haben. Vor allem in der am dichtesten besiedelten meernahen Fußstufe sowie in der Waldstufe ist die Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit und der Bodenbedeckung durch die Landnutzung vielerlei Art bereits weit fortgeschritten und gibt insbesondere auf den Hauptinseln zu Besorgnis Anlaß. Hier gilt es verstärkt bewußt zu machen, daß eine dauerhafte Nutzung der begrenzten ökonomischen Grundlagen des kanarischen Archipels nur unter Respektierung der räumlich differenzierten ökologischen Grundlagen möglich sein kann.

Summary

Contributions to the Study of the Climate near the Ground on the Canary Islands.

Macroclimatic data based on standard shelter observations taken 2 m above the ground appear to be inadequate in characterizing the actual climatic conditions for organisms near the ground. The climate near the ground (microclimate and soil climate) is highly controlled by local factors as substrate, vegetation cover, or topograph, and shows substantial variations even over short distances.

Since 1973 the author has carried out studies of the climate near the ground in various ecosystems of Tenerife, Fuerteventura, and Lanzarote. The paper gives two examples taken from different biota.

In the semi-desert environment near the ocean level of Lanzarote and Fuerteventura the interaction of solar radiation and qualities of the soil surface (substrate, aspect, vegetation, soil moisture, etc.) has been studied in detail. Though the solar radiation is less intensive than in the high country, the surface of bare black lapilli may achieve a maximal temperature up to 64—66 ° C, while the highest surface temperature of light sand (high albedo) or of dark basalt lava (high thermal conductivity) stay considerably lower. The temperature difference between sun-exposed and shaded soil surfaces comes to 25—35 ° C on clear summer days. The crucial climatic-ecological parameters within the semi-desert belt are of hygric rather than of thermic nature. The effect of nightly dew condensation on the ground seems to be of minor importance in summer according to our field experiences.

The semi-arid mountain climate above the timberline (Cumbre Dorsal and Cañadas of Tenerife) is rather extreme with soil surface temperatures up to 65 ° C and intense direct solar radiation in summer, and with common night frosts (absolute minimum of the air temperature —17.8 ° C) and temporary snow cover during the winter season. Two critical ecological seasons exist in the high country: the summer with intensive radiation, overheating and dessication of the upper soil layer; and the winter with short-term weather variations, frequent nightly freezing, and frost-induced movements of the upper soil layer. The most favourable phenologic season for the vegetation is the late springtime.

The most threatening stress to the natural environments of the Canary Islands results not from climatic extremes, however, but from growing human impact.

Resumen

Los datos macroclimáticos tomados de casetas meteorológicas estandarizadas, a 2 m del suelo, aparecen inadecuadas para caracterizar el clima que soportan los organismos que viven cerca de la superficie del suelo. El clima cerca del suelo (microclima y clima del suelo propiamente tal) es altamente controlado por factores locales como substrato, manto vegetacional, o topografía, apreciándose diferencias importantes incluso dentro de cortas distancias.

Desde 1973 el autor ha estudiado el clima cercano al suelo en varios ecosistemas de Tenerife, Fuerteventura y Lanzarote. Se dan dos ejemplos de diferentes biota.

Se han estudiado en detalle las interacciones de radiación solar y calidad del suelo (substrato, aspecto, vegetación, humedad del suelo) en el ambiente semi desértico cerca del nivel del mar en Lanzarote y Fuerteventura. A pesar de que la radiación solar es menos intensa que a mayor altura, la superficie de lapillis negras descubiertas alcanzan temperaturas de 64 a 66 ° C, mientras las temperaturas de arena clara (alto albedo) o la lava basáltica oscura (alta conductividad térmica) no llegan a ser tan altas. La diferencia térmica entre suelos expuestos al sol y a la sombra es de 25 a 3 ° C en días despejados de verano. Los parámetros limitantes climático- ecológicos en la franja semidesértica son los hígricos antes que los térmicos. De acuerdo a nuestras experiencias la condensación nocturna de rocio en el suelo durante el verano es de escasa importancia.

El clima semi-árido por encima de los limites de los bosques (Cumbre Dorsal y Cañadas de Tenerife) es muy extremo con temperaturas del suelo de hasta 65 ° C y radiación solar intensa en verano, y con heladas nocturnas comunes (el mínimo absoluto en el aire de —17,8 ° C) y una cubierta de nieve temporal durante el invierno. Hay dos estaciones ecologicamente críticas en los terrenos altos: El verano con su radiación solar intensa que conduce al sobrecalentamiento y la desecación de la capa superficial del suelo, y el invierno con variaciones climáticas rápidas, frecuentes heladas nocturnas y movimientos del suelo a consecuencia de las heladas. La época más favorable para el desarrollo de la vegetación es la primavera avanzada.

Sin embargo el peligro de alteración más importante del medio natural de las Islas Canarias no proviene de los extremos climáticos sino del impacto humano.

Literatur

Atlas Basico de Canarias (1980), Barcelona, 80 S.

Bramwell, A. & Z. (1974): Wild flowers of the Canary Islands. — Cabildo Insular de Tenerife, 261 S.

Bravo, T. (1964): Geografia general de las Islas Canarias, Tomo II. — Santa Cruz de Tenerife, 592 S.

Ceballos, L. & F. Ortuño (1951): Estudio sobre la vegetación y la flora forestal de las Canarias occidentales. — Madrid, 465 S., Neuaufl. Sta. Cruz de Tenerife 1976, 433.

Corchero Cruz, J. (1980): Lanzarote, cuna de enarenados. — El Campo 76: 22—24.

Deutscher Wetterdienst (1981): Klimadaten von Europa, II SW-Europa und Mittelmeerländer. — Offenbach, A 152—A 159.

Diaz Gutierrez, A. (1983): La energía solar y su aprovechamiento agrario en la Isla de Lanzarote. — Lancelot III, No. 31: 13.

Fernandopullé, D. (1976): Climatic characteristics of the Canary Islands. - In: Kunkel, G. (Hrsg.), Biogeography and Ecology in the Canary Islands. Monogr. Biologicae 30: 185—206.

Font Tullot, I. (1959): El clima de las Islas Canarias. — Anuario de Estudios Atlánticos, Madrid — Las Palmas, 57—104.

Frankenberg, P. & M. Richter (1981): Zusammenhänge zwischen Pflanzenvielfalt, Wasserhaushalt und Mikroklima in Tunesien. — In: Festschrift f. F. Monheim zum 65. Geburtstag, Geogr. Inst. d. RWTH Aachen, 243—271.

Geiger, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. — 4. Aufl. Braunschweig, 646 S.

Hanle, A. (1961): Agrarklimatologische Beobachtungen auf der Kanareninsel Lanzarote — Mainzer Geogr. Studien (Panzer-Festschrift), 157—162.

Hempel, L. (1980): Studien über fossile und rezente Verwitterungsvorgänge im Vulkangestein der Inseln Fuerteventura (Islas Canarias). — Forschungsber. d. Landes Nordrhein-Westf. Nr. 2927, Fachgr. Physik, Chemie, Biologie, 32 S.

Höllermann, P. (1978a): Soil movements in the subtropical mountain environment of High Tenerife (Canary Islands). — Assoc. Geogr. d'Alsace, Colloque sur le Periglaciaire d'Altitude du Domaine Mediterranéen et Abords, Strasbourg, 91—112.

— (1978b): Geoecological aspects of the upper timberline in Tenerife, Canary Islands. — Arctic and Alp. Research 10 (2): 365—382.

— (1979): Geomorphological field experiments in a subtropical mountain environment. — Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica 13: 41—55.

— (1980): Microenvironmental studies in various ecosystems of the Canary Islands. — 24th Intern. Geogr. Congress Japan 1980, Abstracts of papers presented at the Symposium of IGU Commission on Mountain Geoecology, Univ. of Tsukuba, 28—31.

— (1981): Microenvironmental studies in the laurel forest of the Canary Islands. — Mountain Research and Development 1 3/4: 193—207.

— (1982): Studien zur aktuellen Morphodynamik und Geoökologie der Kanareninseln Teneriffa und Fuerteventura. — Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. in Göttingen, Math. — Phys. Kl., III. Folge Nr. 34, 406 S.

Höllwarth, M. & U. Kull (1979): Einige ökophysiologische Untersuchungen auf Tenerife (Kanarische Inseln). — Botan. Jahrb. Syst. 100: 518—535.

Huetz de Lemps, A. (1969): Le climat des Îles Canaries. — Publ. Faculté Lettres Sorbonne, SEDES, Paris, 224 S.

Kämmer, F. (1974): Klima und Vegetation auf Tenerife, besonders im Hinblick auf den Nebelniederschlag. — Scripta Geobotanica 7, Göttingen, 78 S.

— (1982): Beiträge zu einer kritischen Interpretation der rezenten und fossilen Gefäßpflanzenflora und Wirbeltierfauna der Azoren, des Madeira-Archipels, der Ilhas Selvagens, der Kanarischen Inseln und der Kapverdischen Inseln, mit einem Ausblick auf Probleme des Artenschwundes in Makaronesien. — Freiburg i. Brsg., 179 S.

Kunkel, G. (1977): Las plantas vasculares de Fuerteventura (Islas Canarias), con especial interés de las forrajeras. — ICONA, Naturalia Hispanica 8, Madrid, 130 S.

— (1980): Die Kanarischen Inseln und ihre Pflanzenwelt. — Stuttgart — New York, 185 S.

Martinez de Pison, E. & F. Quirantes (1981): El Teide. Estudio geográfico. — Sta. Cruz de Tenerife, 187 S.

Matznetter, J. (1955): Der Trockenfeldbau auf den Kanarischen Inseln. — Mitteil.d. Geogr. Gesellsch. Wien 97: 79—96.

— (1958): Die Wirtschaftsformen der Kanareninsel Lanzarote. — Geogr. Rundschau 10: 17—21.

— (1968): Die Inseln der ostatlantischen Archipele als reliefbedingte Klimatypen. — Wetter u. Leben 20: 93—109.

Muhlia, A. & A. Chávez (1980): Insolación y radiación solar en el tope de la atmósfera para latitudes que cubren la República Mexicana. — Anales del Instituto de Geofiscia, Univ. Nac. Autonoma de Mexico 26: 127—149.

Oberdorfer, E. (1965): Pflanzensoziologische Studien auf Teneriffa und Gomera (Kanarische Inseln). — Beitr. Naturkundl. Forsch. Südwest-Deutschland 24: 47—104.

Pasenau, H. (1981): Bodenphysikalische Beobachtungen im Trockenfeldbau auf Lanzarote. — Aachener Geogr. Arb. 14 (1): 273—285.

Pauly, V. (1976): Die Vegetation der Kanarischen Inseln insbesondere von Teneriffa. Versuch einer ökologischen Analyse. — Unveröff. Diplomarbeit, Abt. f. Ökophysiologie u. Vegetationskunde d. Univ. Hohenheim, 65 S.
Ríos Navarro, M. (1982): Perspectivas de la energía solar en las Islas Canarias. — Cuadernos de Economia Canaria 4, Sta. Cruz de Tenerife, 95—112.
Tzschirner, B. (1922): Der Temperaturgang in drei Höhenstationen auf Teneriffa. — Beitr. z. Physik d. freien Atmosphäre 10, 37 S.
Voggenreiter, V. (1974): Geobotanische Untersuchungen an der natürlichen Vegetation der Kanareninsel Tenerife. — Dissertationes Botanicae 26, Lehre, 718 S.
Wendler, G., & F. Eaton, (1983): On the desertification of the Sahel Zone. Part 1: Ground Observations. — Climatic Change 5: 365—380.
Walter, H. (1955): Die Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökolgische, vegetationskundliche u. landwirtschaftliche Zwecke. — Ber. Deutsche Botan. Gesellsch. 68: 331—344.
— (1977): Vegetationszonen und Klima. — 3. Aufl., UTB 14, Stuttgart, 309 S.

Prof. Dr. P. Höllermann, Geographisches Institut der Universität Bonn, Franziskanerstraße 2, D-5300 Bonn 1.